

**ELECTRONIC SILENCING SYSTEM**

Patent Number: JP61296392

Publication date: 1986-12-27

Inventor(s): ASAMI KINICHIRO; ENOKIDA TAKASHI; HAMADA HARUO; KURIZAI TAKU; MIURA TANETOSHI; OGURI YOSHITAKA; TAKAHASHI MINORU

Applicant(s):: HITACHI PLANT ENG &amp; CONSTR CO; HAMADA HARUO; MIURA TANETOSHI

Requested  
Patent: ☐ JP61296392Application  
Number: JP19850139293 19850626Priority Number  
(s): JP19850139293 19850626IPC  
Classification: F01N1/00 ; G10K11/16

EC Classification:

Equivalents: JP2049512C, JP5074835B

---

**Abstract**

---

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭61-296392

⑪ Int. Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和61年(1986)12月27日

G 10 K 11/16  
F 01 N 1/00

6647-5D  
8511-3G

審査請求 未請求 発明の数 1 (全7頁)

⑭ 発明の名称 電子消音システム

⑮ 特 願 昭60-139293

⑯ 出 願 昭60(1985)6月26日

⑰ 発 明 者 浜 田 晴 夫 小金井市梶野町4-8-1

⑱ 発 明 者 榎 田 隆 氏 市川市福栄4-9-1

⑲ 発 明 者 三 浦 種 敏 国分寺市南町1-11-20

⑳ 発 明 者 高 橋 稔 東京都千代田区内神田1丁目1番14号 日立プラント建設株式会社

㉑ 出 願 人 日立プラント建設株式会社 東京都千代田区内神田1丁目1番14号

㉒ 出 願 人 三 浦 種 敏 国分寺市南町1-11-20

㉓ 出 願 人 浜 田 晴 夫 小金井市梶野町4-8-1

㉔ 代 理 人 弁理士 松浦 憲三

最終頁に続く

#### 明 細 書

##### 1. 発明の名称

電子消音システム

##### 2. 特許請求の範囲

音波の伝搬通路内に於ける騒音源からの伝搬音波に対して逆位相で且つ同一音圧の音波を発生させ、前記伝搬通路内の所定位置でその音波干渉により消音を行う電子消音システムにおいて、

前記伝搬通路内の前記所定位置より騒音源側に配設され、該騒音源からの伝搬音波を検出し電気信号に変換する第1の機械電気変換手段と、

前記伝搬通路内に於ける第1の機械電気変換手段の配設位置と前記所定位置との間に設けられ騒音源からの伝搬音波を該所定位置において打ち消すための音波を放射する電気機械変換手段と、

前記伝搬通路内の前記所定位置に設けられ騒音源からの伝搬音波と前記電気機械変換手段から放射される音波との干渉状態を検出する第2の機械電気変換手段と、

第1、第2の機械電気変換手段からのアナログ信号をデジタル信号に変換すると共に、駆動信号作成手段からのデジタル出力をアナログ信号に変換し前記電気機械変換手段に出力する入出力インターフェースと、

入出力インターフェースを介して入力される第1の機械電気変換手段の出力信号を受けて与えられた伝達関数に基づいて所定の振幅特性及び位相特性を有する電気機械変換手段の駆動信号を作成する駆動信号作成手段と、

第1、第2の機械電気変換手段の出力信号を入出力インターフェースを介して取り込み、これらの出力信号に基づいてデジタル演算処理し、前記伝搬通路内の音波の伝達特性を示す伝達関数、前記各電気音響変換手段間における音圧-電圧変換特性若しくは電圧-音圧変換特性を示す伝達関数を求め、これらの伝達関数に基づいて前記第2の機械電気変換手段の出力信号が零になるように駆動信号作成手段に付与すべき伝達関数を決定し、該伝達関数を特定する為の制御パラメータを前

記駆動信号作成手段に設定すると共に、伝搬通路の伝搬特性の変化及び制御系の特性変化に応じて前記制御パラメータを修正する制御手段とを有することを特徴とする電子消音システム。

### 3. 発明の詳細な説明

#### (発明の利用分野)

本発明は電子消音システムに係り、特にデジタルフィルタを組み込んだコンピュータシステムにより適応制御を行うことにより、管路等の伝搬通路内に発生する非定常的騒音の消音を可能とした電子消音システムに関する。

#### (発明の背景)

管内騒音に対する消音を管構造による干渉や管に内貼りした多孔質材による吸音等の現象を利用して行う受動型消音器は広く実用に供されているが、消音器のサイズ、圧力損失等の点でその改善に対する要求が多い。

一方これに対して管内騒音を消音するもう一つの方法として古くから提案されていた能動型消音器、即ち音源から伝搬してきた騒音に対し、同一

音圧、逆位相の付加音を放射し、音波干渉により消音効果を強制的に生じさせる電子消音システムが着目されつつある。これは電子デバイス、信号処理技術等の急速な発達に伴って、最近様々な観点からの研究成果が次々と発表されている。

しかしながら、解決すべき多くの問題が山積しており、現在ではまだ本格的な実用段階には至っていない。

電子消音システムを実用化するための技術課題はその制御系設計の基礎となるモデルの構築にあり、そのモデルは下記の点に対応できることが要求される。先ず第1の問題は連続スペクトル騒音の消音用フィルタを形成することである。即ち変圧器騒音やコンプレッサ騒音のような離散スペクトル騒音のみならず自動車騒音や気流騒音のような連続スペクトル騒音に対しても付加音を発生させることができれば電子消音システムの用途が更に拡大する。この実現に当たっては任意の振幅特性と位相特性が得られるフィルタが必要となる。

第2の問題はセンサーマイクロホンに対する付加音の帰還を防止しなければならないという点である。即ち電子消音システムでは音波が伝搬する伝搬通路内における騒音源と付加音源との間にセンサーマイクロホンが設置され、これにより検出した音から何等かの手段で騒音源からの伝搬音波を打ち消す為の音波を放射する付加音源を駆動するための電気信号を作成することが必要となる。この場合に付加音源から放射される音波はセンサーマイクロホンにも捕らえられるために結局、付加音源とセンサーマイクロホンとの間に音響的フィードバック系が形成されるのでこれに対する対策が必須となる。特に電子消音システムを小型化し且つダクト等の管路の任意の位置に取付け可能に構成するためにはセンサーマイクロホンと付加音源とを近接せざるを得ない為にこの音響的フィードバックの影響は大きく、これに対する対策が重要となる。

更に第3の問題は電子消音システムに用いられるマイクロホン、スピーカー等の電気音響変換器

の特性補正を可能にすることである。即ち電子消音システムの制御機能を安定化させるためには制御系に電気音響変換器の微小な特性劣化を補正する機能を持たせることが必須であり、この問題も解決しなければならない。

従来この種の電子消音器にあっては上記の技術課題については何等解決されておらず、それ故電子消音システムは実用化されていなかった。

#### (発明の目的)

本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、電子消音システムの制御系の設計の基礎となるモデルを解明し、このモデルにもとづいて構成された管路等の伝搬通路内に発生する非定常的騒音の消音を可能とした電子消音システムを提供することを目的としている。

#### (発明の概要)

本発明は前記目的を達成するために、音波の伝搬通路内に於ける騒音源からの伝搬音波に対して逆位相で且つ同一音圧の音波を発生させ、前記伝搬通路内の所定位置でその音波干渉により消音を

行う電子消音システムにおいて、前記伝搬通路内の前記所定位置より騒音源側に配設され、該騒音源からの伝搬音波を検出し電気信号に変換する第1の機械電気変換手段と、前記伝搬通路内に於ける第1の機械電気変換手段の配設位置と前記所定位置との間に設けられ騒音源からの伝搬音波を該所定位置において打ち消すための音波を放射する電気機械変換手段と、前記伝搬通路内の前記所定位置に設けられ騒音源からの伝搬音波と前記電気機械変換手段から放射される音波との干渉状態を検出する第2の機械電気変換手段と、第1、第2の機械電気変換手段からのアナログ信号をデジタル信号に変換すると共に、駆動信号作成手段からのデジタル出力をアナログ信号に変換し前記電気機械変換手段に出力する入出力インターフェースと、入出力インターフェースを介して入力される第1の機械電気変換手段の出力信号を受けて与えられた伝達関数に基づいて所定の振幅特性及び位相特性を有する電気機械変換手段の駆動信号を作成する駆動信号作成手段と、第1、第2の機

械電気変換手段の出力信号を入出力インターフェースを介して取り込み、これらの出力信号に基づいてデジタル演算処理し、前記伝搬通路内の音波の伝搬特性を示す伝達関数、前記各電気音響変換手段間における音圧-電圧変換特性若しくは電圧-音圧変換特性を示す伝達関数を求め、これらの伝達関数に基づいて前記第2の機械電気変換手段の出力信号が零になるように駆動信号作成手段に付与すべき伝達関数を決定し、該伝達関数を特定する為の制御パラメータを前記駆動信号作成手段に設定すると共に、伝搬通路の伝搬特性の変化及び制御系の特性変化に応じて前記制御パラメータを修正する制御手段とを有することを特徴とする。

#### (実施例)

以下、添付図面に従って本発明に係る電子消音システムの好ましい実施例について説明する。具体的実施例の説明に先立ち、本発明に係る電子消音システムの原理について第1図乃至第3図に基づいて説明する。第1図には付加音源が単一で

ある単極音源方式(MONOPOLE SYSTEM)の電子消音システムの原理図が示されており、同図に於いて音波の伝搬通路10内にはセンサマイクロホン $M_1$ と、該センサマイクロホン $M_1$ の設置位置より下流側には消音効果を評価する為のマイクロホン $M_2$ がそれぞれ設置されている。更にマイクロホン $M_1$ 、 $M_2$ の間には付加音源 $S$ が設けられている。またセンサマイクロホン $M_1$ と付加音源 $S$ との間にはコントローラ12が設けられている。上記構成に於いて騒音源からの伝搬音波は先ずマイクロホン $M_1$ により検出され、電気信号に変換されてコントローラ12に入力される。又コントローラ12にはマイクロホン12からの消音効果を評価する為の評価信号20が入力される。コントローラ12はマイクロホン $M_2$ の設置位置に於いて付加音源 $S$ から放射された消音用音波と騒音源から発せられた伝搬音波との干渉によりマイクロホン $M_2$ の出力が零になるような駆動信号を付加音源 $S$ に出力する。このように構成することによりマイクロホン $M_2$ の設置位置

に於いて騒音源から発せられた音波を消去することができる。このような構成の電子消音システムに於いて消音効果を高める為には第1図に於いて示す各電気音響変換器間に於ける音の伝搬特性を示す伝達関数 $G_d$ 、 $G_d'$ 、 $G_t$ の他にマイクロホン $M_1$ 、 $M_2$ 、付加音源 $S$ 等の各々の電気音響変換器自体の変換特性をも加味したモデルを検討する必要がある。更にこのように検討されたモデル内の各要素が明確に定義されていることも必要である。

このような観点から我々は第1図に於ける電気信号の流れと音波の伝搬について詳細に検討した結果、マイクロホン $M_1$ の出力、付加音源 $S$ の入力、マイクロホン $M_2$ の出力の各々の端子に電気的に測定可能な評価点 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ を設けることにより、電子消音システムの制御系の設計の基礎となるモデルを構築できることを解明した。その具体的モデルを第2図を用いて説明する。同図に於いて太線の矢印は音波の伝搬方向を示し、実線で示された矢印は電気信号の流れを示してい

る。又、 $P_1$ 、 $P_2$ は伝搬通路10内に於ける下流方向に伝搬する騒音源からの伝搬音波のマイクロホン $M_1$ 、 $M_2$ の設置位置に於けるそれぞれの音圧、 $V_A$ 、 $V_B$ 、 $V_C$ は既述したようにマイクロホン $M_1$ 、付加音源としてのスピーカ $S$ 、マイクロホン $M_2$ のそれぞれに設けられた測定点に於ける電圧である。又 $H_{H1}$ はマイクロホン $M_1$ の下流方向に伝搬する音波に対する音圧—電圧変換特性を示す伝達関数、 $H_{H2}$ はマイクロホン $M_2$ の伝搬通路10内に於ける下流方向に伝搬する音波に対する音圧—電圧変換特性を示す伝達関数、 $H_{H1}'$ は付加音源 $S$ の方向から伝搬する音波に対するマイクロホン $M_1$ の音圧—電圧変換特性を示す伝達関数、 $H_{H2}'$ はマイクロホン $M_2$ の付加音源 $S$ の方向から伝搬する音波に対する音圧—電圧変換特性を示す伝達関数、 $H_s$ は付加音源 $S$ のマイクロホン $M_2$ の方向への電圧—音圧変換特性を示す伝達関数、 $H_s'$ は付加音源 $S$ のマイクロホン $M_1$ の方向への電圧—音圧変換特性を示す伝達関数である。又 $H_c$ はコントローラ12の制御特性を示す

伝達関数である。第2図に示したモデルに於いて付加音源 $S$ からマイクロホン $M_1$ へ伝搬する音波について付加音源 $S$ 、マイクロホン $M_1$ の変換特性を加味した伝搬特性を示す伝達関数を $H_r$ 、又付加音源 $S$ からマイクロホン $M_2$ の方向に伝搬する音波について付加音源 $S$ 、マイクロホン $M_2$ の変換特性を加味した伝搬特性を示す伝達関数を $H_t$ とすると、これらの伝達関数は次式で表される。

$$H_r = H_{H1}' \cdot G_d' \cdot H_s' \quad \dots (1)$$

$$H_t = H_s \cdot G_t \cdot H_{H2}' \quad \dots (2)$$

このように第2図で示されたモデルを伝達関数 $H_r$ 、 $H_t$ に置き換えることにより第3図に示すようにそのモデルが更に簡化される。次に第3図に基づいて付加音源 $S$ から放射される騒音源からの伝搬音波を打ち消す為の音波を発生させる為のコントローラ12の制御特性を示す伝達関数 $H_c$ を導く。

ここでマイクロホン $M_2$ の設置位置に於ける音圧 $P_2$ 、各測定点に於ける電圧 $V_A$ 、 $V_B$ 、 $V_C$ はそれぞれ次式で表される。

$$P_2 = P_1 \cdot G_d \quad \dots (3)$$

$$V_A = P_1 \cdot H_{H1} + V_B \cdot H_r \quad \dots (4)$$

$$V_B = V_A \cdot H_e \quad \dots (5)$$

$$V_C = P_2 \cdot H_{H2} + V_B \cdot H_t \quad \dots (6)$$

また(4)、(5)式より $V_A$ は次式で表される。

$$V_A = \frac{P_1 \cdot H_{H1}}{1 - H_e \cdot H_r} \quad \dots (7)$$

同様に(3)、(5)、(7)式より $V_C$ は次式で表される。

$$V_C = P_1 \cdot \left( G_d \cdot H_{H2} + \frac{H_{H1} \cdot H_e \cdot H_t}{1 - H_e \cdot H_r} \right) \quad \dots (8)$$

$V_C = 0$ とするためには、

$$G_d \cdot H_{H2} = - \frac{H_{H1} \cdot H_e \cdot H_t}{1 - H_e \cdot H_r} \quad \dots (9)$$

式(9)が成立しなければならない。これにより伝達関数 $H_e$ は次式で表される。

$$H_e = \frac{-G_d \cdot \frac{H_{H2}}{H_{H1}}}{H_t - G_d \cdot \frac{H_{H2}}{H_{H1}} \cdot H_r} \quad \dots (10)$$

(10)式から判るように伝達関数 $H_e$ を決定するためには

$$G_d \cdot \frac{H_{H2}}{H_{H1}}、H_t、H_r \text{の各伝達関数が必}$$

要となるが、これらはいずれも測定点を $V_A$ 、 $V_B$ 、 $V_C$ として同定可能であることが明らかとなった。

以上に示したように本発明に係る電子消音システムの基本原理を示すモデルに基づいてなされた解析結果から本発明に係る電子消音システムのモデルは〔発明の背景〕の項で述べた3つの問題点に対応できることが判る。

またコントローラ12の制御特性を示す伝達関数 $H_e$ は付加音源 $S$ とセンサマイクロホン $M_1$ を含む音響フィードバック系の特性方程式である $1 - H_e \cdot H_r = 0$ の全ての根が単位円内にあると

きに安定である。このフィードバック系の安定性判別は、Schur-Cohnの判定法などで容易に確認することができる。

次に第4図に上記したモデルに基づいて構成された本発明に係る電子消音システムの具体的構成を示す。同図に於いてダクト等の伝搬通路10の騒音源側には伝搬音波の情報抽出用のマイクロホン $M_1$ が、又伝搬通路10に於けるマイクロホン $M_1$ の下流側には音波干渉による消音効果を評価する為のマイクロホン $M_2$ が、更に伝搬通路10に於けるマイクロホン $M_1$ とマイクロホン $M_2$ との間の管壁には付加音源としてのスピーカ $S$ がそれぞれ設置されている。ここでマイクロホン $M_1$ は単一指向性のものを、又マイクロホン $M_2$ は無指向性のものをそれぞれ用いる。これはスピーカ $S$ からマイクロホン $M_1$ への音響的フィードバックを抑制する為である。又この音響的フィードバックを抑制する為にスピーカ $S$ とマイクロホン $M_1$ との距離をスピーカ $S$ とマイクロホン $M_2$ の距離に比較して長くなるように各電気音響変換器 $M$

、 $M_1$ 、 $S$ が設置される。又伝搬通路10に於けるスピーカ $S$ とマイクロホン $M_1$ との間にはグラスウール等の吸音材14が内貼りされている。又22は入出力インターフェースであり、A/D変換部24、28とD/A変換部26とから構成されている。又30はデジタルフィルタであり、該デジタルフィルタ30は制御部50により与えられた伝達関数に基づいて入出力インターフェース22に於けるA/D変換部24を介して取り込まれたマイクロホン $M_1$ からの騒音源からの伝搬音波を示す電気信号を取り込み、該電気信号から前記伝達関数に基づいて所定の振幅特性及び位相特性を有するスピーカ $S$ を駆動する為の駆動信号を作成する。

制御部50は伝搬通路10内に騒音源から音波が発生していない状態に於いて、予めマイクロホン $M_1$ 、スピーカ $S$ 、マイクロホン $M_2$ の各電気音響変換器間に於ける伝搬音波の伝搬特性或いは各電気音響変換器自体の変換特性を示す伝達関数を導出する為のテスト信号を回路各部に出力した

り、或いは伝搬通路10内に実際に騒音源からの音波が伝搬している場合に於いてマイクロホン $M_1$ 、 $M_2$ から入出力インターフェース22を介して取り込み、これらの入力信号に基づいてデジタルフィルタ30に所定の伝達関数を与える為の制御パラメータをデジタルフィルタ30に設定する。更に制御部50は前記制御パラメータを伝搬通路10の空気流の変動等の外乱による伝搬特性の変化及び制御系の特性変化に応じて修正するように適応制御を行なう。

上記構成に於いて先ずデジタルフィルタ30には伝達関数の導出結果から定められた第3図に示した伝達関数 $H_0$ に相当する伝達関数を付与する為の制御パラメータが制御部50より設定される。この状態に於いて伝搬通路10内に於いて騒音源より発せられた伝搬音波がマイクロホン $M_1$ により検出されると、マイクロホン $M_1$ からの出力信号は入出力インターフェース22に於けるA/D変換部24を介してデジタルフィルタ30、制御部50にそれぞれ入力される。

他方騒音源からの伝搬音波はマイクロホン $M_2$ により検出され、マイクロホン $M_2$ の検出力は入出力インターフェース22に於けるA/D変換部28を介して制御部50に取り込まれる。制御部50では伝搬通路10内に於ける外乱による伝搬特性の変化及び各電気音響変換器自体の特性変化等を考慮してこれらの特性を示す伝達関数を求め、これらの伝達関数に基づいて消音効果、即ち騒音源からの伝搬音波とスピーカ $S$ から放射された音波との干渉状態を検出するマイクロホン $M_2$ の出力信号が零になるようにデジタルフィルタ30に付与すべき伝達関数を決定し、該伝達関数を特定する為の制御パラメータをデジタルフィルタ30に設定する。尚、制御部50は既述したように伝搬通路10の伝搬特性の変化及び制御系の特性変化に応じて前記制御パラメータの修正を随時行なう。この結果マイクロホン $M_1$ により検出された騒音源からの伝搬音波は電気信号に変換され、入出力インターフェース22に於けるA/D変換部24を介してデジタルフィルタ30に

入力され、該入力信号はデジタルフィルタ30によって制御部50から与えられた伝達関数に基づいて所定の振幅特性及び位相特性を有するデジタル信号に変換される。該デジタル信号は入出力インターフェース22に於けるD/A変換部26によりD/A変換され、スピーカSの駆動信号としてスピーカSの駆動コイルに印加され、スピーカSからはマイクロホンM<sub>1</sub>に対し騒音源から発せられた伝達音波を打ち消す為の音波が放射される。この結果マイクロホンM<sub>1</sub>の設置位置に於いて音波の干渉により騒音源からの伝達音波は消去され、伝達通路中に於けるマイクロホンM<sub>1</sub>の設置位置より下流側では騒音源からの伝達音波は伝達されることはない。又スピーカSから放射された消音用の音波はマイクロホンM<sub>1</sub>によっても検出され、スピーカSとマイクロホンM<sub>1</sub>との間で音響的フィードバック系が形成されることは否めないが、既述したようにマイクロホンM<sub>1</sub>に単一指向性の特性を有するものを用いたこと、スピーカSとマイクロホンM<sub>1</sub>との距離をスピーカ

SとマイクロホンM<sub>1</sub>との距離に比して長く取るように各電気音響変換器を設置したこと及び特に高域に於いて吸音効果を有するグラスウール等の吸音材14をスピーカSとマイクロホンM<sub>1</sub>との間に於ける伝達通路10の内壁面に配設するように構成したことからスピーカSからマイクロホンM<sub>1</sub>に対して音響的フィードバックはかなり抑制される。

尚、上記実施例では電子消音システムを1台のみ示したが伝達通路10が大口径の管路である場合或いは伝達通路10に超高性能の消音効果が要求される際には電子消音システムを並列或いは直列に接続することによりこれらに対処することが可能である。

#### (発明の効果)

以上説明したように本発明では電子消音システムを実現化する上で要求される諸特性を満足させるモデルを作成し、該モデルによる解析結果に基づいてシステムを構成するようにしたので、本発明によれば、適応制御による管路等の伝達通路に

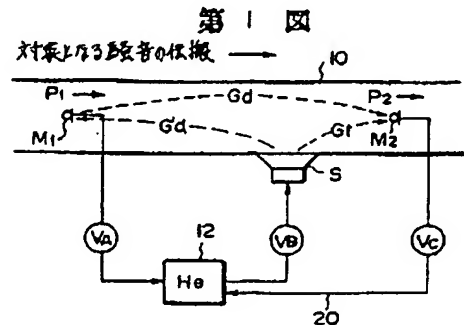
発生する広帯域の非定常的騒音の安定した且つ高精度の消音を可能とした電子消音システムを実現することができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

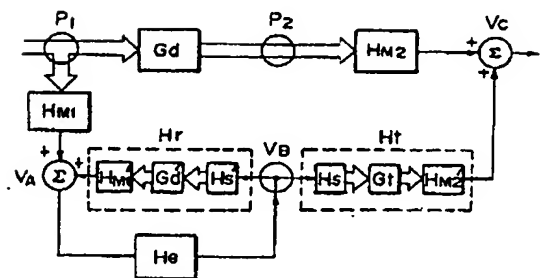
第1図乃至第3図は本発明に係る電子消音システムの原理を示し、第1図は電子消音システムの基本的なモデルを示す説明図、第2図は伝達通路の伝達特性及び各電気音響変換器自体の変換特性を考慮した電子消音システムのモデルを示す説明図、第3図は第2図に示したモデルを簡略化したモデルを示す説明図、第4図は本発明に係る電子消音システムの具体的構成を示すブロック図である。

10…伝達通路、12…コントローラ、14…吸音材、24、28…A/D変換部、26…D/A変換部、22…入出力インターフェース、30…デジタルフィルタ、50…制御部、M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>…マイクロホン、S…スピーカ。

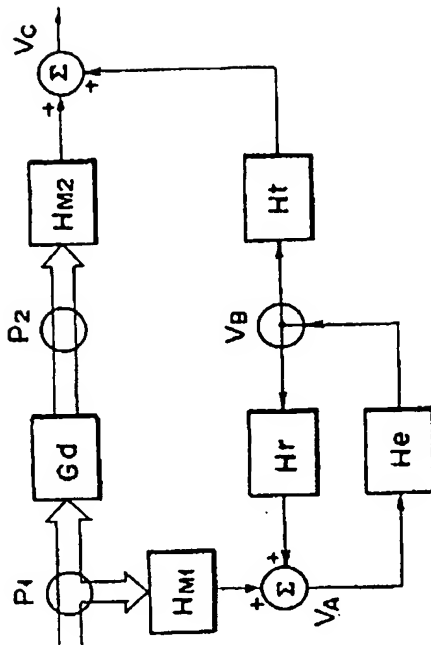
代理人 弁理士 松浦憲三



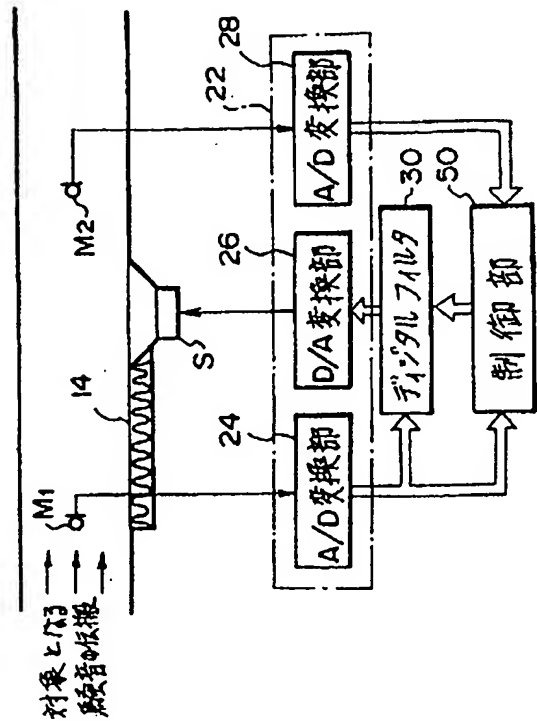
第2図



區  
三  
號



区  
4  
線



第1頁の続き

⑦發明者 栗 材 卓

東京都千代田区内神田1丁目1番14号 日立プラント建設  
株式会社内

⑦發明者淺見欽一郎

東京都千代田区内神田1丁目1番14号 日立プラント建設  
株式会社内

發明者 小栗 敬堯

東京都千代田区内神田1丁目1番14号 日立プラント建設  
株式会社内